

УДК 621.315

А. Г. ГУРИН, И. А. КОСТЮКОВ, Е. С. МОСКВИТИН, В. П. СКИБИН, Ю. Г. ГОНТАРЬ**НЕРАЗРУШАЮЩИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ В ИЗОЛЯЦИОННОМ МАТЕРИАЛЕ ЛИНЕЙНЫХ ИЗОЛЯТОРОВ И КОНЦЕВЫХ РАЗДЕЛКАХ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ**

Пропонується метод визначення неоднорідностей у твердій ізоляції лінійних високовольтних ізоляторів та кінцевих розділок силових кабелів коли існує можливість визначити місце виходу еквіпотенціальних ліній електричного поля на поверхню ізоляції. Показано, що еквіпотенціальна лінія виносить на поверхню ізоляційної конструкції інформацію про внутрішню структуру ізоляції. Запропоновано по визначеним потенціалам на поверхні ізоляції від імпульсу напруги ладанної форми визначити його спектр у заданих точках поверхні і шляхом обробки суми та різниці спектрів у різних точках поверхні визначити наявність неоднорідностей у внутрішніх шарах ізоляції.

Ключові слова: електрична ізоляція силових кабелів, неоднорідності у внутрішніх шарах ізоляції.

Предлагается метод определения неоднородностей в изоляционном материале линейных изоляторов и концевых разделках силовых кабелей, когда существует возможность определить выход эквипотенциальной линии электрического поля на поверхность слоя изоляции. Показано, что эквипотенциальная линия несет информацию о внутренней структуре слоя изоляции. Предлагается по измеренным на поверхности изоляции потенциалам, при подаче импульса напряжения заданной формы, определять спектр измеренного импульса и путем суммирования спектров в измеряемых точках поверхности определять наличие неоднородностей внутри изоляционного слоя.

Ключевые слова: электрическая изоляция кабелей, неоднородности во внутренних слоях изоляции.

Insulation of electrical equipment is represented by different types of dielectric materials. It is shown that for majority of electrical insulating structures with axial symmetry, the change in the coordinates of the output of equipotentials to the surface of insulation is due to the presence of an inhomogeneity in the insulating layer. The offset of the equipotential lines is related to the horizontal or vertical orientation of the inclusions. When a rectangular voltage pulse is fed to the central electrode on the measuring loop, which repeats the shape of the equipotential line, a voltage pulse is induced, the shape change of which and its spectrum characterize the degree of heterogeneity of the insulating layer. This paper presents a non-destructive method for heterogeneity determination in insulation material which is based on analysis of the offset of the equipotential lines. Equipotential reflects processes occurring within the insulating layer as the form of equipotential is supposed to change in case of presense of heterogeneity. Knowing the spectral composition of the voltage pulse measured on the ring and the time constants of possible inclusions, one can judge the propagation of a given inclusion in the insulating layer under investigation.

Key words: insulation of power cables, heterogeneity of insulation.

Введение. Электрическую изоляцию электрооборудования линий электропередач, станций и подстанций обеспечивают твердые электроизоляционные материалы органического и неорганического происхождения. Для обеспечения равной электрической прочности и равномерного распределения токов утечки по поверхности изоляционная конструкция выполняется осесимметричной, когда внутренним электродом является токоведущий стержень высоковольтный электрод цилиндрической формы или жила силового кабеля, а внешним электродом служит крепежный фланец или концевая разделка экрана кабеля. В этих частях изоляции возникает повышенная напряженность электрического поля не только при перенапряжениях, но и в рабочем режиме. Здесь происходит ускоренное старение материала изоляции. Ситуацию усугубляет образование в твердой изоляции воздушных и водных включений, наличие микровключений различных примесей. Такие включения вызывают искажение картины электрического поля, усиливая напряженность поля или ослабляя ее как в толще изоляции, так и на ее поверхности, что вызывает местные пробои (частичные разряды) и ускоряет прораствание водных триингов.

Известны различные способы определения инородных включений, но чаще всего получить такую информацию без разрушения конструкции сложно, а неразрушающие методы дают интегральную характеристику, не указывая место расположе-

ния включения. В статье предлагается для неразрушающего контроля наличия включений в изоляционном слое использовать информацию, которую дают эквипотенциальные линии, выходя с толщи изоляции на ее поверхность. Место выхода эквипотенциали на поверхность зависит от геометрических размеров электродов (например, жилы кабеля и экрана), от влияния наличия примеси (прорастающий дендрит от экрана от экрана к жиле, или газовое включение вдоль слоя изоляции). Это вызывает смещение эквипотенциали на поверхности слоя изоляции в зависимости от преобладания того или иного типа включений. Информацию об изменении потенциала эквипотенциальной линии можно получить если на цилиндрической поверхности изоляции разместить металлический электрод в виде кольца, который повторяет форму эквипотенциальной линии. Для того, чтобы картина электрического поля не искажалась, кольцо должно быть в виде тонкого проводника, совпадающего с эквипотенциальной поверхностью по всей поверхности контакта. Перемещая кольцо по поверхности изоляционного слоя можно определить расположение потенциала по исследуемой длине концевой разделки или линейного изолятора.

При наличии органических или неорганических включений эквипотенциаль будет претерпевать изменения, поскольку каждый вид включения представляет частичную емкость со своей постоянной времени [1].

$$\tau = RC = \varepsilon\varepsilon_0\rho \quad (1)$$

где $C_{\text{в}}$ – геометрическая емкость включения, $R_{\text{в}}$ – общее сопротивление участка изоляции, включающее объемное и поверхностное сопротивления, ε – относительная диэлектрическая проницаемость включения, ρ – объемное сопротивление материала включения.

При подаче на исследуемый объект короткого импульса с крутым фронтом (намного меньше 1 мкс) можно считать что на распределение потенциала в слое изоляции влияет только электронная поляризация поскольку другие виды поляризации имеют постоянные времена превышающие длительность воздействия импульса. Таким образом, эквипотенциаль в данный момент времени отражает процессы, происходящие внутри изоляционного слоя. Зная спектральный состав импульса напряжения измеряемого на кольце и постоянные времена возможных включений можно судить о распространении данного включения в исследуемом слое изоляции.

Цель работы. Показать возможность определения наличия микровключений и неоднородностей в изоляции электротехнических устройств путем изучения спектрального состава импульса напряжения, получаемого в точке прохождения эквипотенциальных линий на поверхности слоя изоляции.

Свойства эквипотенциальной линии электрического поля. Кроме известных свойств [3] эквипотенциальная линия может служить источником информации о составе изоляционного слоя, его однородности. Проходя по внутренним слоям изоляции разделки кабеля, эквипотенциальная линия выходит на поверхность, являясь результатом воздействия каждого элемента в структуре изоляции, способных изменять геометрические координаты ее прохождения в слое изоляции. В зависимости от наличия продольных или поперечных включений точки выхода на поверхность разделки будут смещаться влево или вправо от своего устойчивого состояния [4]. Кроме того, различная реакция основного материала изоляции и включений из-за различных постоянных времени поляризации приводит к изменению спектрального состава регистрируемого импульса. Очищенный от помех сигнал позволяет получить информацию о величине включений и их составе.

На рис. 1 показана блок-схема экспериментальной установки для исследования концевой разделки силового кабеля.

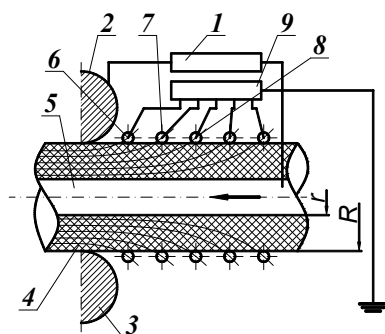


Рис. 1 – Блок-схема экспериментальной установки
Между токоведущей жилой кабеля 3 и электродом 2 приложен импульс напряжения от генератора прямоугольных импульсов 1. Эквипотенциальные линии, проходя через слой изоляции 4, выходят на поверхность изоляции в точках 7, 8, где установлены кольцевые измерители потенциала, повторяющие форму эквипотенциальных линий. Сигнал, снимаемый с кольца, передается на регистрирующий блок 9, позволяющий определить амплитуду и спектр сигнала. Наличие включения 5, изменяет как амплитуду, так и спектр сигнала.

На рис. 2 а приведена конструкция проходного изолятора ИП – 10/630.

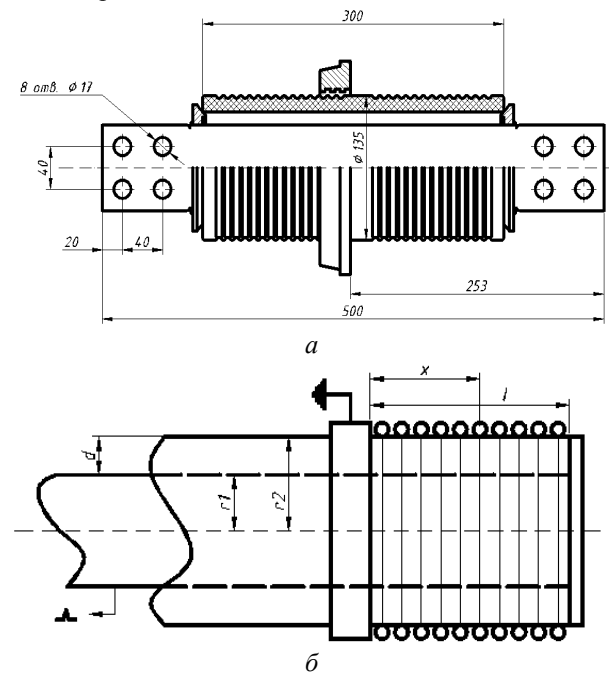


Рис. 2 – Объект исследования для разработки методики определения неоднородностей в изоляционном материале линейных изоляторов: а – конструкция проходного изолятора ИП – 10/630; б – расположение кольцевых электродов

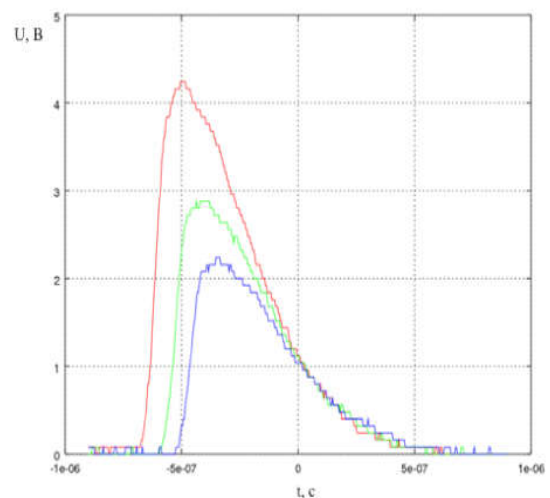


Рис. 3 – Форма импульсов напряжения в различных точках эквипотенциалей изолятора ИП – 10/630.

При приложеннии импульса напряжения между токоведущим стержнем и фланцем на кольцевых электродах 1-10 на поверхности изолятора получим импульсы по форме аналогичные сигналам в точках 1, 2, 3. Амплитуды импульсов в точках 1-10 изменяются по соотношению [3].

$$\varphi = U \frac{sh(l-x)}{sh(\gamma l)} \quad (2)$$

где φ – потенциал в точке измерения, U – амплитуда приложенного импульса напряжения, l – длина расчетной части поверхности, x – расстояние до точки установки измерительного кольца, γ – полная проводимость единицы длины изоляционного слоя.

Форма измеряемого импульса искажается за счет разнородных компонентов фарфорового изолятора со своими постоянными времени. Электрическая прочность и диэлектрические свойства фарфора зависят от многих причин. Кварц, глина, каолин улучшают диэлектрические свойства, полевошпат ухудшает. Важным показателем качества фарфора является пористость, что может привести к образованию водных включений. Каждый из этих материалов будет иметь свою постоянную времени, которая определяется объемным сопротивлением и диэлектрической постоянной компонента фарфора.

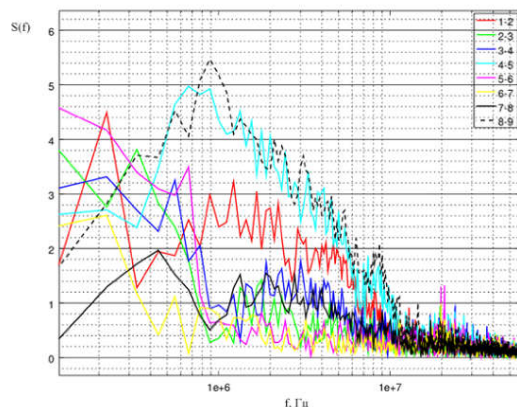


Рис. 4 – Спектральный состав электротехнического фарфора в измеряемых точках

Показанный на рис. 4 спектральный состав фарфора, измеренный в 9 точках поверхности, свидетельствует о разнородности состава.

Выводы. Показано, что для большинства электроизоляционных конструкций с осевой симметрией изменение координат выхода эквипотенциалей на поверхность изоляции связано с наличием неоднородности в изоляционном слое. Смещение эквипотенциальных линий связано с горизонтальной или вертикальной ориентацией включений.

При подаче на центральный электрод прямоугольного импульса напряжения на измерительном витке, который повторяет форму эквипотенциальной линии, индуцируется импульс напряжения, изменение формы которого и его спектр характеризуют степень неоднородности изоляционного слоя.

Список литературы

1. Тареев Б. М. Физика диэлектрических материалов / Б. М. Тареев. – М.: Энергоиздат, 1982. – 320 с. 2. Говорков В. А. Электрические и магнитные поля / В. А. Говорков. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1960. – 463 с. 3. Сукачев А. П. Теоретические основы электротехники. Часть 1. Физические основы электротехники / А. П. Сукачев. – Х.: Изд-во Харьковского университета им. А. М. Горького, 1959. – 463 с. 4. Дмитриевский В. С. Расчет и конструирование электрической изоляции / В. С. Дмитриевский. – М.: Энергоиздат, 1981. – 392 с.

References (transliterated)

1. Tareev B. M. *Fizika dielektricheskikh materialov* [Physics of dielectric materials] Moscow, Jenergoizdat Publ, 1982. 320 p. 2. Govorkov V. A. *Jelektricheskie i magnitnye polja* [Electric and magnetic fields] Moscow, Gosjenergoizdat Publ, 1960. 463 p. 3. Sukachev A. P. *Teoreticheskie osnovy jelektrotehniki*. [Electrical engineering] Harkov.: Har'kovskogo universiteta im. A. M. Gor'kogo. Publ. 1959. 463 p. 4. Dmitrievskij V. S. *Raschet i konstruirovaniye jelektricheskoy izoljacii* [Calculation of electrical insulation] Moscow, Jenergoizdat Publ, 1981. 392 p.

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Неруйнівний метод визначення неоднорідностей в ізоляційному матеріалі лінійних ізоляторів та силових кабелів / А. Г. Гурін, І. О. Костюков, Є. С. Москвітін, В. П. Скібін, Ю. Г. Гонтар // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність. – Х.: НТУ «ХПІ», 2017. – No 31 (1253). – С. 25–28. – Бібліогр.: 4 назв. – ISSN 2224-0349.

Неразрушающий метод определения неоднородностей в изоляционном материале линейных изоляторов и концевых разделках силовых кабелей / А. Г. Гурин, И. А. Костюков, Е. С. Москвитин, В. П. Скибин, Ю. Г. Гонтар // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність. – Харків: НТУ «ХПІ», 2017. – No 31 (1253). – С. 25–28. – Библиогр.: 4 назв. – ISSN 2224-0349.

A non-destructive method for heterogeneity determination in insulation material / A. G. Gurin, I. A. Kostyukov, E. S. Moskvitin, V. P. Skibin // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Energetic reliability and energy efficiency. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No. 5 (1235). – P. 25–28. – Bibliogr.: 4. – ISSN 2224-0349.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Гурин Анатолій Григорович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри електроізоляційної та кабельної техніки НТУ «ХПІ», м. Харків. тел. 70-76-663

Гурин Анатолій Григорьевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой электроизоляционной и кабельной техники НТУ «ХПИ», г. Харьков. тел. 70-76-663

Gurin Anatolij Grigorjevich – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"

Костюков Иван Александрович – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри електроізоляційної та кабельної техніки НТУ «ХПІ», м. Харків. e-mail: Kostiukow.Ivan@yandex.ru. 70-76-544

Костюков Иван Александрович – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры электроизоляционной и кабельной техники НТУ «ХПИ», г. Харьков.

Kostiukov Ivan Aleksandrovich – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", e-mail: iakostiukow@gmail.com.

Москвітін Євген Сергійович – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри електроізоляційної та кабельної техніки НТУ «ХПІ», м. Харків.

Москвитин Евгений Сергеевич – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры электроизоляционной и кабельной техники НТУ «ХПИ», г. Харьков.

Moskvitin Evgenij Serhiyovych – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute",

Скібін Валерій Павлович – старший викладач кафедри електроізоляційної та кабельної техніки НТУ «ХПІ», м. Харків. тел. 70-76-544

Скибин Валерий Павлович – старший преподаватель кафедры электроизоляционной и кабельной техники НТУ «ХПИ», г. Харьков. тел. 70-76-544

Skibin Valerij Pavlovich – lecturer at National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"